

S11 1 PN="8-304705"
?t 11/5/1

11/5/1
DIALOG(R)File 347:JAPIO
(c) 2001 JPO & JAPIO. All rts. reserv.

05349205 **Image available**
REFLECTION REFRACTIVE OPTICAL SYSTEM

PUB. NO.: 08-304705 [JP 8304705 A]
PUBLISHED: November 22, 1996 (19961122)
INVENTOR(s): TAKAHASHI TOMOWAKI
APPLICANT(s): NIKON CORP [000411] (A Japanese Company or Corporation), JP
(Japan)
APPL. NO.: 07-177858 [JP 95177858]
FILED: July 14, 1995 (19950714)
INTL CLASS: [6] G02B-017/08
JAPIO CLASS: 29.2 (PRECISION INSTRUMENTS -- Optical Equipment)

ABSTRACT

PURPOSE: To realize high numerical aperture and to make the diameter of a concave mirror small under a condition that an actuating distance on an image side is sufficiently secured.

CONSTITUTION: Light from a 1st surface forms an intermediate image through a 1st image-formation optical system G(sub 1) provided with a 1st group G(sub 11) having positive refractive power and a 2nd group G(sub 12) provided with the concave mirror M(sub 1) and a negative lens component and having the positive refractive power. The light from the intermediate image forms the reduced image of the 1st surface on a 2nd surface through a 2nd image-formation optical system G(sub 2) having reducing magnification. Then, an optical path deflecting member M(sub 2) is arranged in an optical path from the optical system G(sub 1) to the optical system G(sub 2).

(13) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-304705

(43) 公開日 平成8年(1996)11月22日

(51) Int.Cl.⁶

G 0 2 B 17/08

識別記号

庁内整理番号

F I

G 0 2 B 17/08

技術表示箇所

A

審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願平7-177858

(22) 出願日 平成7年(1995)7月14日

(31) 優先権主張番号 特願平6-271631

(32) 優先日 平6(1994)11月7日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(3) 優先権主張番号 特願平7-47142

(32) 優先日 平7(1995)3月7日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 高橋 友刀

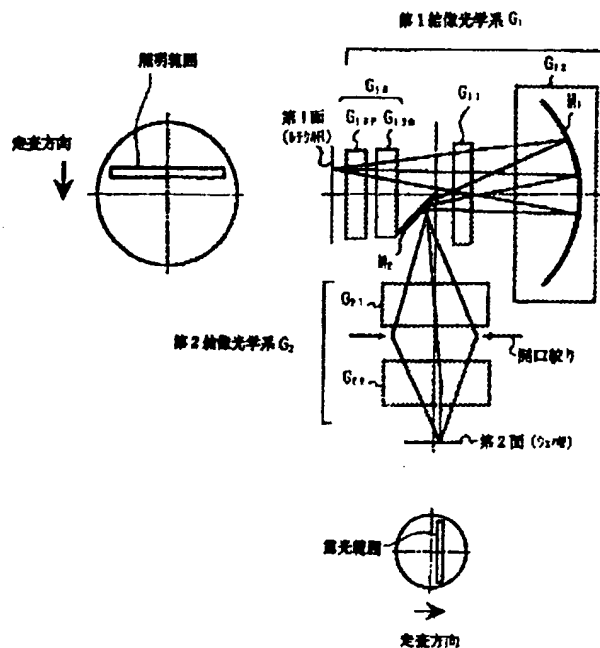
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(54) 【発明の名称】 反射屈折光学系

(57) 【要約】

【目的】像側における作動距離を十分に確保したもとで高い開口数を達成し、凹面鏡の小径化を図ること。

【構成】第1面からの光は、正屈折力の第1群 G_{11} と、凹面鏡 M_1 と負レンズ成分とを有する正屈折力の第2群 G_{12} とを有する第1結像光学系 G_1 を介して中間像を形成する。中間像からの光は、縮小倍率を持つ第2結像光学系 G_2 を介して第2面上に第1面の縮小像を形成する。ここで、第1結像光学系 G_1 から第2結像光学系 G_2 へ到る光路中には光路偏向部材 M_2 が配置される。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】第1面の中間像を形成する第1結像光学系と、

縮小倍率を有し前記中間像の像を第2面上に形成する第2結像光学系と、

前記第1結像光学系から前記第2結像光学系へ到る光路中に配置され、前記第1結像光学系からの光を前記第2結像光学系へ導く光路偏向部材とを有し、

前記第1結像光学系は、正屈折力の第1群 G_{11} と、凹面鏡と負レンズ成分とを有する正屈折力の第2群 G_{12} とを有し、かつ前記第1面からの光を前記第1群 G_{11} 、前記第2群 G_{12} 、前記第1群 G_{11} の順に導き、前記第1結像光学系と前記第2結像光学系との合成倍率は縮小倍率であることを特徴とする反射屈折光学系。

【請求項2】前記第2群 G_{12} 中の負レンズ成分は、前記第1群 G_{11} 側に凹面を向けたメニスカス形状であることを特徴とする請求項1記載の反射屈折光学系。

【請求項3】前記第2結像光学系は、正屈折力のレンズ群 G_{21} と、正屈折力のレンズ群 G_{22} とを有することを特徴とする請求項1又は2の何れか一項に記載の反射屈折光学系。

【請求項4】前記レンズ群 G_{21} と前記レンズ群 G_{22} との間の光路中には、開口絞りが配置されることを特徴とする請求項3記載の反射屈折光学系。

【請求項5】前記第1結像光学系は、前記第1面と前記第1群 G_{11} との間の光路中に配置されたレンズ群 G_{13} を有し、

該レンズ群 G_{13} は、前記第1面側から順に、正屈折力の前群 G_{13F} と、負屈折力の後群 G_{13R} とを有することを特徴とする請求項1乃至4の何れか一項に記載の反射屈折光学系。

【請求項6】前記第1結像光学系の結像倍率は、縮小倍率であることを特徴とする請求項1乃至5の何れか一項に記載の反射屈折光学系。

【請求項7】前記第1結像光学系の結像倍率を β_1 とし、前記第2結像光学系の結像倍率を β_2 とするとき、 $0.4 < |\beta_1| < 1.2$

$0.2 < |\beta_2| < 0.7$

$1/1.0 < |\beta_1 \cdot \beta_2| < 1/2$

を満足することを特徴とする請求項1乃至5の何れか一項に記載の反射屈折光学系。

【請求項8】前記第2結像光学系を構成する光学材料は、互いに分散値の異なる少なくとも二種類の光学材料であることを特徴とする請求項1又は2の何れか一項に記載の反射屈折光学系。

【請求項9】前記第2結像光学系中の前記レンズ群 G_{21} は、高分散ガラスから構成される負レンズ成分と、低分散ガラスから構成される正レンズ成分とを含み、

2

る請求項3記載の反射屈折光学系。

【請求項10】以下の条件を満足することを特徴とする請求項1又は2の何れか一項に記載の反射屈折光学系。

$$|P_{G1} + P_{G2}| < 0.1$$

$$P_{G11} + P_{G21} + P_{G22} > 0$$

$$P_{G12} < 0$$

但し、 P_{G1} ：前記第1結像光学系のベッツバール値、

P_{G2} ：前記第2結像光学系のベッツバール値、

P_{G11} ：前記第1群 G_{11} のベッツバール値、

P_{G12} ：前記第2群 G_{12} のベッツバール値、

P_{G21} ：前記第2結像光学系中の前記レンズ群 G_{21} のベッツバール値、

P_{G22} ：前記第2結像光学系中の前記レンズ群 G_{22} のベッツバール値、

である。

【請求項11】以下の条件を満足することを特徴とする請求項5記載の反射屈折光学系。

$$|P_{G1} + P_{G2}| < 0.1$$

$$P_{G11} + P_{G21} + P_{G22} + P_{G13} > 0$$

$$P_{G12} < 0$$

但し、 P_{G1} ：前記第1結像光学系のベッツバール値、

P_{G2} ：前記第2結像光学系のベッツバール値、

P_{G11} ：前記第1群 G_{11} のベッツバール値、

P_{G12} ：前記第2群 G_{12} のベッツバール値、

P_{G21} ：前記第2結像光学系中の前記レンズ群 G_{21} のベッツバール値、

P_{G22} ：前記第2結像光学系中の前記レンズ群 G_{22} のベッツバール値、

P_{G13} ：前記第1結像光学系中の前記レンズ群 G_{13} のベッツバール値、

である。

【請求項12】前記第1面と前記第2面との配置を平行にするために、前記第1面と前記第1結像光学系中の第1群 G_{11} との間には、前記第1面からの光を偏向させる第2の光路偏向部材が配置されることを特徴とする請求項1乃至11の何れか一項記載の反射屈折光学系。

【請求項13】前記第1面と前記第2面との配置を平行にするために、前記第2結像光学系中のレンズ群 G_{21} 及びレンズ群 G_{22} の間には、光路偏向部材が配置されることを特徴とする請求項1乃至請求項11の何れか一項記載の反射屈折光学系。

【請求項14】前記第1面と前記第2面とを水平に配置し、且つ前記第1面を前記第2面よりも上方に配置したことを特徴とする請求項12又は13記載の反射屈折光学系。

【請求項15】前記第1結像光学系と前記第2結像光学系との間に形成される中間像の位置に、前記第2面上の像形成領域の大きさが可変となる視野絞りを設けたこと

【請求項16】前記第2結像光学系中のレンズ群G₂₁とレンズ群G₂₂との間の光路中に、特殊フィルターを設けたことを特徴とする請求項1乃至15の何れか一項に記載の反射屈折光学系。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば半導体素子又は液晶表示素子等をフォトリソグラフィ工程で製造する際に使用されるステッパー等の投影露光装置の投影光学系に関する。特に、本発明は、光学系の要素として反

【0002】

【従来の技術】半導体素子又は液晶表示素子等をフォトリソグラフィ工程で製造する際に、レチクル（又はフォトマスク等）のパターン像を投影光学系を介して例えば1/4〜1/5程度に縮小して、フォトレジスト等が塗布されたウェハ（又はガラスプレート等）上に露光する投影露光装置が使用されている。投影露光装置としては、従来は主にステッパーのような一括露光方式が使用されていた。

【0003】最近、半導体素子等の集積度が一層向上するにつれて、投影露光装置に使用されている投影光学系に要求される解像力も益々高まっている。この要求に応えるためには、露光用の照明光の波長（露光波長）を短波長化するか、又は投影光学系の開口数NAを大きくしなければならない。しかしながら、露光波長が短くなると照明光の吸収のため実用に耐える光学ガラスが限られており、屈折系のみで投影光学系を構成することは困難である。

【0004】一方、反射系のみで投影光学系を構成することも試みられているが、この場合、投影光学系が大型化し、且つ反射面の非球面化が必要となる。ところが、大型の高精度の非球面を製作するのは極めて困難である。そこで、反射系と使用される露光波長に耐える光学ガラスからなる屈折系とを組み合わせたいわゆる反射屈折光学系で縮小投影光学系を構成する技術が種々提案されている。その一例として、凹面鏡を含む光学系と、屈折光学系とを組み合わせることで所定の縮小倍率のもとでレチクルの像を投影する反射屈折光学系が、例えば米国特許第4,779,966号公報、特開平4-234722号公報に開示されている。

【0005】上記米国特許第4,779,966号公報に開示される反射屈折光学系は、物体側から順に、屈折光学系と、この屈折光学系による中間像を再結像させる反射屈折光学系とから構成されている。また、特開平4-234722号公報に開示される光学系は、物体側から順に、完全対称型の反射屈折光学系と、この反射屈折光学系による中間像を縮小倍率のもとで再結像させる屈

【発明が解決しようとする課題】上記米国特許第4,779,966号公報及び特開平4-234722号公報に開示される反射屈折光学系では、凹面鏡を含む反射屈折光学系中の屈折光学部材として、負屈折力のレンズ成分のみを用いていた。従って、物体（中間像）から凹面鏡へ達する光束の光束径は拡大される一方であるため、凹面鏡自体の口径の小型化を図ることが困難であった。

【0007】上述の問題点に加えて、特に上記米国特許第4,779,966号公報に開示される反射屈折光学系において、像側の開口数を上げざるを得ない。このときには、像側に配置される反射屈折光学系中の凹面鏡に入射させる光束の径を拡大させる必要があるため、この凹面鏡の口径が大型化する問題点がある。さらに、米国特許第4,779,966号公報に開示される反射屈折光学系では、縮小倍率の関係から凹面反射鏡M₂からウェハ（像面5）に到る光路が長く取れないため、この光路中に配置される屈折レンズのレンズ枚数を多くすることができず、十分な結像性能が得られにくいという不都合があった。また、このため、最もウェハ側の光学素子の端面とウェハとの距離、即ちウェハ側の作動距離（ワーキングディスタンス）が長く取れないという不都合がある。

【0008】そこで、本発明は、像側における作動距離を十分に確保したもとで高い開口数を実現でき、凹面鏡の口径の小径化を達成することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】上述の目的を達成するために、本発明による反射屈折光学系は、例えば図1に示す如く、第1面Rの中間像を形成する第1結像光学系G₁と、縮小倍率を有し中間像の像を第2面W上に形成する第2結像光学系G₂と、第1結像光学系G₁から第2結像光学系G₂へ到る光路中に配置され、第1結像光学系G₁からの光を第2結像光学系G₂へ導く光路偏向部材M₂とを有するように構成される。そして、第1結像光学系G₁は、正屈折力の第1群G₁₁と、凹面鏡M₁と負レンズ成分とを有する正屈折力の第2群G₁₂とを有し、かつ第1面Rからの光を第1群G₁₁、第2群G₁₂、第1群G₁₁の順に導くように構成され、第1結像光学系G₁と第2結像光学系G₂との合成倍率は縮小倍率であるように構成される。

【0010】

【発明の実施の形態】上述の構成の如き本発明によれば、第1面Rからの光が第1結像光学系G₁中の正屈折力の第1群G₁₁を経由して凹面鏡M₁を含む第2群G₁₂に到達するため、この第2群G₁₂に達する光束の径を第1群G₁₁にて縮小させることができる。従って、第2群G₁₂中の凹面鏡M₁の口径の小型化を図ることが原理的

点がある。

【0011】更に、本発明では、中間像を結像させ、第1光学系中に凹面鏡と負レンズ成分とを有する構成のため、色収差を大幅に低減することが可能である。特に、本発明を発振波長の幅が広い弗化クリプトン(KrF)エキシマレーザーや弗化アルゴン(ArF)エキシマレーザーを光源として適用した場合、色収差軽減に関し大きな利点となる。

【0012】また、本発明によれば、第1結像光学系G₁から第2結像光学系G₂へ到る光路中では、第1結像光学系G₁によって光束の径が絞込まれるため、この光路中に配置される光路偏向部材M₂自体の小型化を図ることができる。さらに、本発明では、この光路偏向部材M₂は、単に光路を折り曲げる機能のみを有する部材とすることが好ましい。この様な部材とすると、ビームスプリッタの如く光束を分離する機能を持たせる必要がないため、光量損失をほぼ0%に抑えることが可能となり、フレアーの発生も極めて少なくできる利点がある。ここで、ビームスプリッタを用いる場合において発生するビームスプリッタの光分割面の特性の不均一性による収差の発生や、熱吸収により光分割面の特性が変化することによる収差の発生は、本発明では生じない。

【0013】ここで、光路偏向部材M₂を第1結像光学系G₁が形成する中間像の近傍に配置することがさらに好ましい。この構成により、光路を折り曲げる際の偏心誤差の影響を非常に少なくできる。例えば、光路偏向部材M₂に角度誤差が生じている場合には、第1結像光学系G₁に対する第2結像光学系G₂の偏心を招くことになるが、この結果としては、第2面W上に形成される像が第1面Rに対してシフトするだけになり、結像性能に対する影響はほとんど生じない。

【0014】また、本発明では、第1結像光学系G₁から第2結像光学系G₂へ到る光路中に、視野絞りを配置することが可能である。このとき、光路偏向部材と一体に視野絞りを構成することが好ましい。本発明では、第2結像光学系G₂中に凹面鏡M₁を持たない構成であるため、高い開口数のもとでも、像側の作動距離を十分に確保することができる。

【0015】また、本発明においては、第2結像光学系G₂は、正屈折力のレンズ群G₂₁と、正屈折力のレンズ群G₂₂とを有する構成が好ましい。そして、本発明においては、これらのレンズ群G₂₁とレンズ群G₂₂との間の光路中に開口絞りを配置する構成をとることができるため、この開口絞りを可変開口絞りとすれば、コヒーレンスファクタ(σ値)を調整できる。

【0016】ここで、焦点深度を深くするためには、第2結像光学系G₂中のフーリエ変換面に特殊フィルターを挿入することが可能である。また、焦点深度を深くし

中の所定部分の位相を他の部分からずらす位相シフト法が提案されている。本発明においては、コヒーレンスファクタ(σ値)を調整することが可能であるため、この位相シフト法の効果をさらに向上できる利点がある。

【0017】更に、本発明においては、第1結像光学系G₁は、第1面Rと第1群G₁₁との間の光路中に配置されたレンズ群G₁₃を有するように構成されることが好ましい。このレンズ群G₁₃は、第1結像光学系G₁に対して倍率をかける機能を有すると共に、第1面R近傍に位置して第1群G₁₁、第2群G₁₂及び第2結像光学系G₂では補正しきれない非対称収差、特に歪曲収差、倍率色収差を良好に補正する機能を有する。そして、このレンズ群G₁₃は、第1面R側から順に、正屈折力の前群G_{13F}と、負屈折力の後群G_{13R}とを有するように構成されることが好ましい。この構成により、レンズ群G₁₃全体としては小径化を達成しつつ、テレセントリック性を良好に維持できる。

【0018】また、本発明においては、第1及び第2結像光学系G₁、G₂は、第1結像光学系G₁の結像倍率をβ₁とし、第2結像光学系G₂の結像倍率をβ₂とするとき、

【0019】

【数1】

$$0.4 < |\beta_1| < 1.2 \quad \dots (1)$$

$$0.2 < |\beta_2| < 0.7 \quad \dots (2)$$

$$1/10 < |\beta_1 \cdot \beta_2| < 1/2 \quad \dots (3)$$

を満足することが好ましい。

【0020】上記(1)乃至(3)式は、本発明における各結像光学系の適切な倍率の範囲を規定して、良好な結像性能を得るためのものである。ここで、第1結像光学系G₁が上記(1)式の下限を越える場合には、第1面R上の所定の物体高における中間像が第1結像光学系G₁の光軸付近に形成されるため、光路偏向部材M₂の配置に制約が生じ、また、第1面Rから第1結像光学系G₁へ向かう光束と光路偏向部材M₂とが干渉する恐れがあるため好ましくない。

【0021】また、第1結像光学系G₁が上記(1)式の上限を越える場合には、第1結像光学系G₁の径、特に第1群G₁₁のレンズ径の拡大化を招き、第2結像光学系G₂での収差補正に負担がかかるため好ましくない。なお、上記(1)式の上限は1.0であることがさらに好ましい。次に、第2結像光学系G₂が上記(2)式の下限を越える場合には、第2結像光学系G₂自体で発生する収差の増大を招き、また、中間像の形成される位置の近傍に存在するレンズの径の拡大化を招くため好ましくない。

【0022】一方、第2結像光学系G₂が上記(2)式の上限を越える場合には、所望の縮小倍率を得るために

7

からの収差が甚大となり、かつ光路偏向部材M₂の配置の制約が増すため好ましくない。なお、上記(2)式の上限を0.5とすることがさらに好ましい。

【0023】そして、第1及び第2結像光学系G₁, G₂が上記(3)式の下限を越える場合には、良好な光学性能のもとで広範囲の露光を達成できないため好ましくない。また、第1及び第2結像光学系G₁, G₂が上記

(3)式の上限を越える場合には、像側の開口数を高めることが困難となるため好ましくない。また、本発明において、さらに光学性能を向上させるためには、まず全系のベッツバル和を0に近づけることが望ましい。この観点に立てば、本発明による反射屈折光学系においては、以下の条件を満足するように構成することが好ましい。

【0024】

【数2】

$$|P_{G1} + P_{G2}| < 0.1 \quad \dots (4)$$

但し、

P_{G1} : 前記第1群G₁₁のベッツバル値、

P_{G12} : 前記第2群G₁₂のベッツバル値、

P_{G2} : 前記第2結像光学系G₂中の前記レンズ群G₂₁のベッツバル値、

P_{G22} : 前記第2結像光学系G₂中の前記レンズ群G₂₂のベッツバル値、

P_{G13} : 前記第1結像光学系G₁中の前記レンズ群G₁₃のベッツバル値、

である。

【0027】なお、この場合には、第1結像光学系G₁のベッツバル値は、第1群G₁₁、第2群G₁₂及び第5群G₁₃のベッツバル値の和を含むものとなる。上記各条件式は、正屈折力の群によるベッツバル和の増大を凹面鏡M₁を含む第2群G₁₂にて減少させることと、第1結像光学系G₁と第2結像光学系G₂とにおいてベッツバル和の補正を互いに行うことを意味している。ここで、上記各条件式を満足しない場合には、第2面W上における像面の平坦性が悪くなるため好ましくない。

【0028】ただし、所定の像高の近傍を露光領域とする輪帯領域を用いる場合には、所定の像高の近傍のみにおける像面の平坦性が問題となるため上記各条件を満足する必要はない。本発明において、第2結像光学系G₂を構成する光学材料は、互いに分散値の異なる少なくとも二種類の光学材料であることが好ましい。これにより、色収差の補正効果を向上できる。

【0029】また、本発明において、第2結像光学系G₂中の前記レンズ群G₂₁は、高分散ガラスから構成される負レンズ成分と、低分散ガラスから構成される正レンズ成分とを含むように構成され、第2結像光学系G₂中

8

$$* P_{G11} + P_{G21} + P_{G22} > 0 \quad \dots (5)$$

$$P_{G12} < 0 \quad \dots (6)$$

但し、P_{G1} : 第1結像光学系G₁のベッツバル値、

P_{G2} : 第2結像光学系G₂のベッツバル値、

P_{G11} : 第1群G₁₁のベッツバル値、

P_{G12} : 第2群G₁₂のベッツバル値、

P_{G21} : 第2結像光学系G₂中のレンズ群G₂₁のベッツバル値、

P_{G22} : 第2結像光学系G₂中のレンズ群G₂₂のベッツバル値、

である。

【0025】同様に、第1面Rと第1群G₁₁との間の光路中にレンズ群G₁₃が配置される場合には、本発明による反射屈折光学系は、上記(5)式の代わりに、以下の(7)式を満足するように構成されることが好ましい。

【0026】

【数3】

$$P_{G11} + P_{G12} + P_{G22} + P_{G13} > 0 \quad \dots (7)$$

※の構成により、色収差の補正効果をさらに向上できる利点がある。

【0030】本発明による反射屈折光学系の第1結像光学系G₁においては、第2群G₁₂中のメニスカスレンズ成分の第1群G₁₁側の凹面と向き合う凹面を有することが好ましい。そして、これらの凹面は、以下の(8)式を満足する構成であることが望ましい。

【0031】

【数4】

$$0.5 < |r_A| / r_B < 2 \quad \dots (8)$$

ただし、r_A : 第2群G₁₂中のメニスカスレンズ成分の第1群側の凹面の曲率半径、

r_B : 前記凹面と向き合う凹面の曲率半径、である。

【0032】この条件(8)は、コマ収差の対称性を良好にするための条件である。第1結像光学系G₁が条件(8)の上限を越える場合には、上方コマ収差が悪化するため好ましくなく、条件(8)の下限を越える場合には、下方コマ収差が悪化するため好ましくない。なお、第1結像光学系G₁中において、これらの向き合う凹面の間にレンズ成分が存在していても良い。

【0033】また、本発明においては、第1結像光学系G₁中の第1群G₁₁の焦点距離をf₁₁とし、第2群G₁₂の焦点距離をf₁₂とすると、

【0034】

【数5】

$$1.5 < f_{11} / f_{12} < 3.5 \quad \dots (9)$$

を満足することが好ましい。上記条件(9)は、第2群G₁₂中の凹面鏡M₁のさらなる小型化を図るための条件である。ここで、上記条件(9)の上限を越える場合には、第1群G₁₁から第2群G₁₂中の凹面鏡M₁へ向かう

場合には、第1結像光学系G₁にて発生する色収差量が甚大となり、第2結像光学系G₂での色収差補正の負担が増すため好ましくない。

【0035】本発明による反射屈折光学系において、第2結像光学系G₂中のレンズ群G₂₁とレンズ群G₂₂とは、以下の条件を満足することが好ましい。

【0036】

【数6】

$$2 < |f_{21}| / |f_{22}| < 6 \quad \dots (10)$$

ただし、f₂₁：レンズ群G₂₁の焦点距離、

f₂₂：レンズ群G₂₂の焦点距離、である。

【0037】この条件(10)の上限を越える場合には、反射屈折光学系全系としての倍率を所定に維持するために第1結像光学系G₁の結像倍率をあげなくてはならず、この結果、第2結像光学系G₂中のレンズ群G₂₁のレンズ径の大口径化を招くため好ましくない。また、条件(10)の下限を越える場合には、反射屈折光学系全系としての倍率を所定に維持するために第1結像光学系G₁の結像倍率を非常に縮小倍率としなくてはならず、これにより、光路偏向部材M₂の配置の制約が増すため好ましくない。

【0038】本発明において、第1結像光学系G₁の第1群G₁₁と第1面Rとの間に、正屈折力の前群G_{13F}と、負屈折力の後群G_{13R}とを有するレンズ群G₁₃が配置される場合には、前群G_{13F}と後群G_{13R}とは、以下の条件を満足することが好ましい。

【0039】

【数7】

$$-2 < f_{13F} / f_{13R} < -0.5 \quad \dots (11)$$

ただし、f_{13F}：前群G_{13F}の焦点距離、

f_{13R}：後群G_{13R}の焦点距離、である。

【0040】上記条件(11)は、第1面R側におけるテレセントリック性の維持と、歪曲収差の補正とに関する条件である。条件(11)の上限を越える場合には、良好な結像性能を維持しようとする、第1結像光学系G₁全体の倍率が等倍付近に制約され、さらには歪曲収差の補正が困難となるため好ましくない。また、条件(11)の下限を越える場合には、歪曲収差が過剰補正されると共に、光路偏向部材M₂によってレンズ群G₁₃から第1群G₁₁へ向かう光束がけられる恐れがあるため好ましくない。

【0041】

【実施例】以下、本発明による反射屈折光学系の実施例を図1を参照して説明する。以下に説明する各実施例は、レチクル上に形成されたパターンの像をレジストが塗布されたウェハ上に転写する露光装置の投影光学系に本発明を適用したものである。

【0042】まず、図1を参照して、本発明による反射

G_{13R}とから構成されるレンズ群G₁₃を通過した後に、第1群G₁₁を通過し、第2群G₁₂に達する。第2群G₁₂は第1群G₁₁側に凹面を向けた凹面鏡M₁を有するように構成されている。この第2群G₁₂に達した第1群G₁₁からの光束は、この凹面鏡M₁にて反射され、再び第2群G₁₂を通過して、光路偏向部材としての光路折曲げミラーM₂へ向かう。この光路折曲げミラーM₂は、第1群G₁₁、第2群G₁₂及びレンズ群G₁₃の光軸に対して45°で斜設されている。そして、第2群G₁₂からの光束は、収収光束となり、光路折曲げミラーM₂の近傍にレチクルRの中間像を形成する。次に、光路折曲げミラーM₂にて反射された光束は、レンズ群G₂₁及びレンズ群G₂₂を順に介して、第2面上のウェハWにレチクルRの2次像(中間像の像)を形成する。

【0043】ここで、以下の実施例においては、レチクルRの中間像を形成する光学系を第1結像光学系G₁と称し、この中間像を再結像させる光学系を第2結像光学系G₂と称する。ここで、図1に示す例では、第1群G₁₁、第2群G₁₂及びレンズ群G₁₃が第1結像光学系G₁となり、レンズ群G₂₁及びレンズ群G₂₂が第2結像光学系G₂となる。なお、後述の第4実施例のように、レンズ群G₁₃は必須のものではない。

【0044】また、図2は、本発明による反射屈折光学系の別の配置を示す図である。尚、図2においては、図1と同様の機能を有する部材には同一の符号を付してある。図2において、図1の例とは異なる点は、レンズ群G₁₃と第1群G₁₁との間の光路中に、光路偏向部材としての光路折曲げミラーM₀を配置した点である。ここで、光路折曲げミラーM₀は第1群G₁₁及び第2群G₁₂の光軸に対して45°で斜設されており、光路折曲げミラーM₂に対して直交して設けられている。この構成により、第1結像光学系G₁及び光路折曲げミラーM₂を介した光束が第1面からの光束の進行方向と同方向となるため、第1面と第2面とを平行な配置とすることができ、この構成により、第1面及び第2面をそれぞれ保持し、かつそれぞれ走査させるための機構の構成が容易となる利点がある。

【0045】なお、図2において、光路折曲げミラーM₀と光路折曲げミラーM₂とを一体の部材で構成しても良い。この構成の場合には、互いに直交する光路折曲げミラーM₀の反射面と光路折曲げミラーM₂の反射面との加工が容易となり、この角度の維持が容易となる利点がある。また、一体に構成する場合には、光路折曲げミラーM₀、M₂の小型化を図ることができ、レンズの配置の自由度を向上させることができる利点がある。

【0046】また、図3は、本発明による反射屈折光学系のさらに別の配置を示す図である。なお、図3においては、図1と同様の機能を有する部材には同一の符号を

11

に、レンズ群 G_{21} の光軸に対して(レンズ群 G_{22} の光軸に対して)45°で斜設された光路偏向部材としての光路折曲げミラー M_3 を配置した点である。この構成により、レンズ群 G_{22} から射出されて第2面に到る光束の進行方向が、第1面から第1結像光学系へ入射する光束の進行方向と同方向となるため、第1面と第2面とを互いに平行な配置とすることができる。この構成により、第1面及び第2面をそれぞれ保持し、かつそれぞれ走査させるための機構の構成が容易となる利点がある。

【0047】また、図3の例では、第1結像光学系 G_1 のレンズ群 G_{11} から光路折曲げミラー M_2 へ向かう光束の進行方向と、第2結像光学系 G_2 中の光路折曲げミラー M_3 からレンズ群 G_{22} へ向かう光束の進行方向とを互いに逆方向とするように、光路折曲げミラー M_2 、 M_3 を配置しているため、反射屈折光学系自体をコンパクトに構成することができる。特に、この構成によれば、第1面と第2面との間隔を短くすることができる利点があり、露光装置全体のコンパクト化を図ることができる。さらに、図3の例では、光路折曲げミラー M_2 を第1結像光学系が形成する中間像の近傍に配置することができるため、光路折曲げミラー M_2 の小型化を実現でき、光学系の配置の自由度を増すことができる。

【0048】更に、図2及び図3に示す実施例においては、第1面及び第2面が水平方向となるように光学系を配置すると、重力によって非対称な変形を受ける光学素子が少なくなる。それ故、第1面及び第2面が水平方向で、第1面を第2面よりも上方となるように配置することが好ましい。特に、図3に示す実施例では、第2結像光学系中のレンズ群 G_{21} 以外は非対称な変形を受けないため、このような配置とすると、光学性能上非常に有利である。ここで、凹面鏡 M_1 が水平に配置されているということは、殊更有効である。

【0049】また、上記各実施例では、第2光学系中に開口絞りを配置することが可能である。このとき、開口絞りは、シグマ(σ)可変絞りとなる。シグマ(σ)可変絞りは、照明光学系の開口数NAと投影光学系の開口数NAとの比であるシグマ(σ)値を、可変にするものである。第2光学系中に開口絞りを配置する場合は、投影光学系の開口数NAが可変となる。本実施例中では、機械的干渉が起こりにくい第2光学系に配置することが特に好ましい。

【0050】また、開口絞り(σ 可変絞り)を配置する代わりに、様々な特殊フィルターを配置することによって、焦点深度を深くすることが可能である。特殊フィルターの一例の図を示した図12を参照しながら説明する。下記の各数値実施例は、物体側及び像側がテレセントリックな光学系となっていて、物体側の各点からの主光線はある光軸の一点で交わるようになっている。こ

12

エ変換面に配置する。フーリエ変換面では、光軸から放れた特定の位置によって回折光の次数が決まる。光軸から離れるほど次数は高くなる。一般的な投影露光光学系は、0次及び1次の回折光を取り入れている。これより、図12(a)及び(b)に示す様に、0次光の成分が存在する半径 r_1 の光軸付近の領域FAと、半径 r_1 から半径 r_2 までの1次光(及びそれ以上の次数の回折光)が存在する開口部周辺付近の領域FBとに、フィルターの領域を分割する。

【0051】図12(c)に示す通り、同心円状に分割したフィルターは、中心部領域FAがS偏光のみを透過し、周辺部領域FBがP偏光のみを透過するように偏光膜を形成する。当然のことながら、中心部領域FAがP偏光、周辺部領域FBがS偏光のみを透過するようにしても構わない。また、このとき、中心部領域FAの屈折率が、周辺部領域FBの屈折率より低くなるようにする。

【0052】上記に示した構成により、特殊フィルターの周辺部領域FBを透過した光束は、焦点面で通常の結像を行う。一方、特殊フィルターの中心部領域FAを透過した光束は、屈折率が低いために、通常の焦点面よりレンズから遠ざかる位置に焦点を結ぶ。ここで、周辺部領域FBを透過した光束と中心部領域FAを透過した光束とは偏光状態が異なるため、それぞれの光束が干渉することは無い。これにより、焦点深度を深くすることが可能となる。また、焦点深度を深くする技術としては、特開昭61-91662号公報、特開平5-234850号公報、特開平6-120110号公報、特開平6-124870号公報、特開平7-57992号公報及び特開平7-57993号公報等に開示された技術があり、それぞれ本発明に適用可能である。特に、このような技術は、孤立パターンを形成するときに有効である。

【0053】また、中間像を形成する場所に絞りを置けば、この絞りは、視野絞りとすることができる。実施例の場合、第1結像光学系と第2結像光学系の間に、視野絞りを設けることが可能である。上記実施例では、図1から図3までに示すように、中間像のできる位置がミラーの付近となっている。このため、ミラーの付近に絞りを配置すればよい。絞りを配置する構成としては、例えば、図13に示す例がある。

【0054】視野絞りを設ける場合は、図13に示す例のごとく、光路折曲げミラー M_2 をなるべく第1結像光学系 G_1 のレンズ群 G_{11} の近傍となるように配置する。これにより、中間像が形成される面が、光路折曲げミラー M_2 近傍から第2結像光学系中のレンズ群 G_{21} よりとなる。このような配置とすることにより、光路折曲げミラー M_2 と第1結像光学系 G_1 のレンズ群 G_{11} と視野絞り機能とが機械的干渉が起こりにくくなる。そし

する。これにより、最終的に第2面上で像の形成される範囲が変化するとになる。

【0055】また、視野の大きさを変化させるものとして、特開昭57-192024号公報、特開昭60-30132号公報、特開昭60-45252号公報、実開昭62-124845号公報、米国特許第4,473,293号公報及び米国特許第4,474,463号公報等に開示された技術があり、それぞれ応用可能である。

【0056】上記のように、可動な遮光部材を場合にに応じて動かすことにより視野絞りを達成する方法以外に、
10 大きさの異なるミラー自体を交換することにより、視野絞りの代わりとすることができる。なお、図13に示す開口可変な視野絞りの形状は、四角形のみならず、円弧状及び四角以上の多角形状にも適用できることは言うまでもない。次に、本発明の反射屈折光学系の数値実施例を説明する。以下の数値実施例においては、レンズ配置を例えば図4に示すように、展開光路図で表す。展開光路図においては、反射面は透過面として表され、レチクルRからの光が通過する順に各光学要素が配列される。また、凹面反射鏡の反射面（例えば r_{18} ）では、平面の仮想面（例えば r_{17} ）が使用される。そして、レンズの形状及び間隔を表すために、例えば図4に示すように、レチクルRのパターン面を第0面として、レチクルRから射出された光がウェハWに達するまでに通過する面を順次第 i 面（ $i=1, 2, \dots$ ）としている。ここで、第 i 面の曲率半径 r_i の符号は展開光路図の中でレチクルRに対して凸面を向ける場合を正にとる。また、第 i 面と第 $(i+1)$ 面との面間隔を d_i とする。また、硝材として、 SiO_2 は合成石英を表し、 CaF_2 は蛍石を表す。合成石英及び蛍石の使用基準波長（193.0nm）
30 に対する屈折率は次のとおりである。

合成石英： 1.56019

蛍石： 1.50138

また、分散値 $1/\nu$ は、次の通りである。

合成石英： 1780

蛍石： 2550

但し、実施例中での分散値は、使用基準波長（193.0nm）に対する $\pm 0.1\text{nm}$ の分散値である。

〔第1実施例〕図4を参照して本発明による第1実施例を説明する。図4(a)は第1実施例による反射屈折光学系の展開光路図であり、図4(b)は、第1実施例の反射屈折光学系のレチクルR上の視野を表す平面図である。

【0057】図4(a)に示す各レンズ群のレンズ構成について説明すると、前群 G_{13F} は、レチクルR側から順に、物体側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分 L_{113} と両凸形状の正レンズ成分 L_{112} とから構成される。前群 G_{13F} に続いて配置される後群 G_{13R} は、第1群 G_{11} 側に強い凹面を向けた両凹形状の負レンズ成分

に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分 L_{112} と、レチクルR側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分 L_{113} とから構成される。第2群 G_{12} は、レチクルR側から順に、レチクルR側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分 L_{121} と、レチクルR側に凹面を向けた凹面鏡 M_1 とから構成される。

【0058】ここで、レチクルRからの光束は、前群 G_{13F} 、後群 G_{13R} 、第1群 G_{11} 、第2群 G_{12} 及び第1群 G_{11} を順に經由して、後群 G_{13R} と第1群 G_{11} との間にレチクルRの中間像を形成する。レンズ群 G_{21} は、この中間像側から順に、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分 L_{211} と、両凸形状の正レンズ成分 L_{212} と、中間像側に強い凹面を向けた両凹形状の負レンズ成分 L_{213} と、両凸形状の正レンズ成分 L_{214} と、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分 L_{215} と、両凸形状の正レンズ成分 L_{216} と、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分 L_{217} と、両凸形状の正レンズ成分 L_{218} と、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分 L_{219} とから構成される。
20

【0059】また、このレンズ群 G_{21} に続いて配置されるレンズ群 G_{22} は、中間像側から順に、両凸形状の正レンズ成分 L_{221} と、中間像側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分 L_{222} と、ほぼ平凸形状の正レンズ成分 L_{223} と、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分 L_{224} と、同じく中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分 L_{225} と、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分 L_{226} と、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分 L_{227} と、同じく中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分 L_{228} と、同じく中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分 L_{229} とから構成される。
30

【0060】以下の表1に本実施例の諸元の値を掲げる。本実施例において、全系の倍率は $1/4$ 倍（縮小）であり、ウェハW側の開口数NAは0.6である。そして、図4(b)に示す如く、本実施例の反射屈折光学系は、レチクルR上における光軸Axからの物体高の範囲が80から104までの輪帯状の視野を有するものである。なお、表1に示す本実施例においては、光路折曲げミラー M_2 は、第7面と第28面とに位置する。また、表1では、凹面鏡 M_1 は第18面となり、その仮想面は第17面となる。

【0061】

【表1】

$d_0 = 36.439$

	r	d	硝材
1	-235.081	57.193	SiO ₂
2	-296.984	0.114	
3	980.895	57.193	SiO ₂
4	-404.213	256.367	
5	-44202.409	46.898	SiO ₂
6	304.521	11.439	
7	0.000	108.321	
8	565.855	57.193	CaF ₂
9	-441.237	46.855	
10	403.722	14.231	SiO ₂
11	168.569	0.355	
12	169.260	41.945	CaF ₂
13	297.659	256.120	
14	0.000	104.439	
15	-288.956	17.618	SiO ₂
16	-1362.463	11.696	
17	0.000	0.000	仮想面
18	379.633	11.696	
19	1362.463	17.618	SiO ₂
20	288.956	104.439	
21	0.000	256.120	
22	-297.659	41.945	CaF ₂
23	-169.260	0.355	
24	-168.569	14.231	SiO ₂
25	-403.722	46.855	
26	441.237	57.193	CaF ₂
27	-565.855	108.321	
28	0.000	47.180	
29	390.727	29.649	SiO ₂
30	216.684	14.478	
31	483.472	40.264	CaF ₂
32	-373.018	14.083	
33	-212.500	18.668	SiO ₂
34	752.410	11.954	
35	447.892	57.193	CaF ₂
36	-305.822	333.558	
37	2215.659	29.691	SiO ₂
38	355.135	21.084	
39	397.251	47.749	CaF ₂
40	-917.284	0.060	
41	585.100	29.886	SiO ₂

16

42	416.841	29.423	
43	700.440	33.483	CaF ₂
44	-3715.651	0.060	
45	436.109	43.924	CaF ₂
46	1705.824	177.385	
47	0.000	154.230	
48	355.478	49.014	SiO ₂
49	-563.952	4.328	
50	-395.497	25.883	SiO ₂
51	-682.185	0.392	
52	587.031	34.883	SiO ₂
53	20495.280	0.281	
54	119.424	53.761	CaF ₂
55	94.335	4.064	
56	104.283	20.589	SiO ₂
57	88.144	9.801	
58	86.532	33.024	CaF ₂
59	102.692	1.790	
60	146.044	17.140	SiO ₂
61	173.630	1.467	
62	152.784	23.238	SiO ₂
63	416.705	1.721	
64	378.175	16.255	SiO ₂
65	3716.296	9.676	

条件対応値を以下に示す。

(1) $|\beta_1| = 0.69219$

(2) $|\beta_2| = 0.36298$

(3) $|\beta_1 \cdot \beta_2| = 0.25$

(4) $|P_{G1} + P_{G2}| = 0.00002$

30 (6) $P_{G12} = -0.00625$

(7) $P_{G11} + P_{G21} + P_{G22} + P_{G13} = 6.29 \times 10^{-3}$

(8) $|r_A|/r_B = 0.969$

(9) $f_{11}/f_{12} = 2.46$

(10) $|f_{21}|/f_{22} = 2.69$

(11) $f_{13F}/f_{13R} = -1.041$

図5(a)は第1実施例の縦収差図であり、図5(b)は第1実施例の倍率色収差図、図5(c)は第1実施例の横収差図である。各収差図中において、NAは開口数を表し、Yは像高を表す。また、符号J、P及びQは、波長がそれぞれ193.0nm、192.9nm及び193.1nmであることを示す。そして、図5(a)において、球面収差中において、破線は正弦条件違反量を表し、非点収差中においては、破線はメリジオナル像面、実線はサジタル像面をそれぞれ表す。図5(c)に示す横収差図において、各コマ収差図中の上部に記載される数字は、物体高を表す。

【0062】図5(a)～(c)に示す諸収差図より、本実施例では、0.6という大きな開口数NAでありなが

り、本実施例では、波長幅0.1nmの範囲において軸上及び倍率の色収差も良好に補正されていることが分かる。なお、図5(c)の横収差図において収差曲線が傾斜しているが、これはディフォーカスした箇所で最良の性能になっていることを表している。

〔第2実施例〕図6を参照して本発明による第2実施例を説明する。図6(a)は第2実施例による反射屈折光学系の展開光路図であり、図6(b)は、第2実施例の反射屈折光学系のレチクルR上での視野を表す平面図である。

【0063】図6(a)に示す各レンズ群のレンズ構成について説明すると、前群G_{13F}は、両凸形状の正レンズ成分L₁₃₁から構成され、後群G_{13R}は、両凹形状の負レンズ成分L₁₃₂から構成される。そして、第1群G₁₁は、レチクルR側から順に、レチクルR側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分L₁₁₁と、レチクルR側に凹面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分L₁₁₂と、ほぼ平凸形状の正レンズ成分L₁₁₃と、両凸形状の正レンズ成分L₁₁₄とから構成される。第2群G₁₂は、レチクルR側から順に、レチクルR側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分L₁₂₁と、レチクルR側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分L₁₂₂と、レチクルR側に凹面を向けた凹面反射鏡M₁とから構成される。

【0064】ここで、本実施例による第1結像光学系G₁は、第1群G₁₁、第2群G₁₂及び前群G_{13F}、G_{13R}から構成されており、第1群G₁₁と後群G_{13R}との間の光路中に中間像を形成する。さて、レンズ群G₂₁は、中間像側から順に、ウェハ側に強い凹面を向けた両凹形状の負レンズ成分L₂₁₁と、両凸形状の正レンズ成分L₂₁₂と、両凹形状の負レンズ成分L₂₁₃と、両凸形状の正レンズ成分L₂₁₄と、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分L₂₁₅と、ほぼ平凸形状の正レンズ成分L₂₁₆と、両凸形状の正レンズ成分L₂₁₇とから構成される。

【0065】また、レンズ群G₂₂は、中間像側から順に、中間像側に強い凸面を向けた両凸形状の正レンズ成分L₂₂₁と、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分L₂₂₂と、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分L₂₂₃と、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分L₂₂₄と、中間像側に凹面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分L₂₂₅と、両凹形状の負レンズ成分L₂₂₆と、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分L₂₂₇と、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分L₂₂₈とから構成される。

【0066】以下の表2に本実施例の諸元の値を掲げる。本実施例において、全系の倍率は1/4倍(縮小)

R上における光軸からの物体高が16から72までの範囲の矩形状のものであり、この視野で走査露光を行うことができる。

【0067】なお、表2に示す本実施例においては、光路折曲げミラーM₂は、第5面と第35面とに位置する。また、表2では、凹面鏡M₁は第21面となり、その仮想面は第20面となる。

【0068】

【表2】〔第2実施例〕

$d_0 = 70.000$

19			
	r	d	n
1	290.273	35.000	CaF ₂
2	-674.162	39.352	
3	-506.467	20.000	SiO ₂
4	498.954	58.525	
5	0.000	0.000	
6	0.000	60.913	
7	271.026	30.000	SiO ₂
8	229.361	50.000	
9	-180.066	27.020	SiO ₂
10	-202.182	39.804	
11	19092.913	32.234	SiO ₂
12	-896.703	24.223	
13	430.839	46.073	CaF ₂
14	-2665.159	8.252	
15	616.588	40.000	SiO ₂
16	280.652	476.053	
17	0.000	156.162	
18	-304.614	20.000	SiO ₂
19	-1074.964	20.000	
20	0.000	0.000	仮想面
21	471.586	20.000	
22	1074.964	20.000	SiO ₂
23	304.614	156.162	
24	0.000	476.053	
25	-280.652	40.000	SiO ₂
26	-616.588	8.252	
27	2665.159	46.073	CaF ₂
28	-430.839	24.223	
29	896.703	32.234	SiO ₂
30	-19092.913	39.804	
31	202.182	27.020	SiO ₂
32	180.066	50.000	
33	-229.361	30.000	SiO ₂
34	-271.026	60.913	
35	0.000	0.000	
36	0.000	58.525	
37	-5741.394	20.000	SiO ₂
38	313.761	0.100	
39	263.813	55.000	CaF ₂
40	-199.509	5.000	
41	-198.081	20.000	SiO ₂

10

20

20

42	298.298	5.000	
43	359.536	50.000	CaF ₂
44	-518.415	0.090	
45	334.348	40.000	SiO ₂
46	357.165	204.354	
47	37330.828	50.416	SiO ₂
48	-854.546	0.090	
49	1110.031	50.000	SiO ₂
50	-2829.652	675.723	
51	0.000	100.510	
52	540.067	50.000	SiO ₂
53	-7370.455	1.000	
54	235.150	50.000	SiO ₂
55	1899.379	1.000	
56	502.120	40.000	SiO ₂
57	564.992	1.000	
58	207.430	60.000	CaF ₂
59	734.637	10.000	
60	-2305.405	30.000	SiO ₂
61	-1231.005	5.000	
62	-972.253	20.000	SiO ₂
63	343.658	0.100	
64	175.595	40.000	SiO ₂
65	80.950	7.000	
66	77.660	50.000	CaF ₂
67	-1440.669	15.000	
68	0.000	0.000	

条件対応値を以下に示す。

(1) $|\beta_1| = 0.79407$

30 (2) $|\beta_2| = 0.30650$

(3) $|\beta_1 \cdot \beta_2| = 0.25$

(4) $|P_{G1} + P_{G2}| = 0.00000$

(6) $P_{G12} = -0.00578$

(7) $P_{G11} + P_{G21} + P_{G22} + P_{G13} = 4.985 \times 10^{-3}$

(8) $|r_A|/r_B = 1.085$

(9) $f_{11}/f_{12} = 2.57$

(10) $|f_{21}|/f_{22} = 2.98$

(11) $f_{13F}/f_{13R} = -0.919$

図7(a)は第2実施例の縦収差図であり、図7(b)は第2実施例の倍率色収差図、図7(c)は第2実施例の横収差図である。各収差図中において、NAは開口数を表し、Yは像高を表す。また、符号J、P及びQは、波長がそれぞれ193.0nm、192.9nm及び193.1nmであることを示す。そして、図7(a)において、球面収差中において、破線は正弦条件違反量を表し、非点収差中においては、破線はメリジオナル像面、実線はサジタル像面をそれぞれ表す。図7(c)に示す横収差図において、各コマ収差図中の上部に記載される数

施例では、0.6という大きな開口数NAでありながら、広い領域において諸収差が良好に補正されていることが分かる。また、図7(a)～(c)に示す諸収差図より、本実施例では、波長幅0.1nmの範囲において軸上及び倍率の色収差も良好に補正されていることが分かる。

〔第3実施例〕図8を参照して本発明による第3実施例を説明する。図8(a)は第3実施例による反射屈折光学系の展開光路図であり、図8(b)は第3実施例の反射屈折光学系のレチクルR上での視野を表す平面図である。 10

【0070】図8(a)に示す各レンズ群のレンズ構成について説明すると、前群G_{13F}は、両凸形状の正レンズ成分L₁₃₁から構成され、後群G_{13R}は、両凹形状の負レンズ成分L₁₃₂から構成される。そして、第1群G₁₁は、両凸形状の正レンズ成分L₁₁₁から構成される。第2群G₁₂は、レチクルR側から順に、レチクルR側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分L₁₂₁と、レチクルR側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分L₁₂₂と、レチクルR側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分L₁₂₃と、レチクルR側に凹面を向け 20 た凹面鏡M₁とから構成される。

【0071】ここで、これらの第1群G₁₁、第2群G₁₂、前群G_{13F}及び後群G_{13R}から第1結像光学系G₁が構成されている。この第1結像光学系G₁は、第1群G₁₁と後群G_{13R}との間の光路中にレチクルRの中間像を形成する。レンズ群G₂₁は、上記中間像側から順に、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分L₂₁₁と、両凸形状の正レンズ成分L₂₁₂と、両凹形状の負レンズ成分L₂₁₃と、両凸形状の正レンズ成分L₂₁₄と、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の負 30 レンズ成分L₂₁₅と、両凸形状の正レンズ成分L₂₁₆と、両凸形状の正レンズ成分L₂₁₇と、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分L₂₁₈と、同じく中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分L₂₁₉とから構成される。

【0072】また、レンズ群G₂₂は、中間像側から順に、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分L₂₂₁と、中間像側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分L₂₂₂と、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分L₂₂₃と、中間像側に凸面を 40 向けたメニスカス形状の負レンズ成分L₂₂₄と、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分L₂₂₅と、両凹形状の負レンズ成分L₂₂₆と、平凸形状の正レンズ成分L₂₂₇とから構成される。

【0073】以下の表3に本実施例の諸元の値を掲げる。本実施例において、全系の倍率は1/4倍（縮小）であり、ウェハW側の開口数NAは0.6である。そして、図8(b)に示す如く、本実施例の視野は、レチクル

とができる。

【0074】なお、表3に示す本実施例においては、光路折曲げミラーM₂は、第7面と第30面とに位置する。また、表3では、凹面鏡M₁は第20面となり、その仮想面は第19面となる。

【0075】

【表3】

$d_0 = 70.000$

23

24

	r	d	n
1	287.144	40.000	CaF ₂
2	-654.578	37.388	
3	-468.588	0.000	
4	0.000	0.000	
5	0.000	30.000	SiO ₂
6	287.602	0.000	
7	0.000	0.000	
8	0.000	0.000	
9	0.000	142.483	
10	857.263	40.000	CaF ₂
11	-432.301	180.698	
12	435.998	15.054	SiO ₂
13	189.589	0.582	
14	190.208	44.370	CaF ₂
15	332.634	330.473	
16	0.000	143.018	
17	-260.582	18.637	SiO ₂
18	-871.619	12.373	
19	0.000	0.000	仮想面
20	403.741	12.373	
21	871.619	18.637	SiO ₂
22	260.582	143.018	
23	0.000	330.473	
24	-332.634	44.370	CaF ₂
25	-190.208	0.582	
26	-189.589	15.054	SiO ₂
27	-435.998	180.698	
28	432.301	40.000	CaF ₂
29	-857.263	142.483	
30	0.000	0.000	
31	0.000	70.000	
32	629.618	31.363	SiO ₂
33	233.002	2.276	
34	287.383	42.592	CaF ₂
35	-463.496	4.510	
36	-270.938	19.747	SiO ₂
37	412.821	0.100	
38	330.735	40.000	CaF ₂
39	-472.146	318.760	
40	2677.458	31.408	SiO ₂
41	688.500	25.291	

42	4988.430	50.510	SiO ₂
43	-1637.698	28.900	
44	1228.746	31.614	SiO ₂
45	-7885.189	90.532	
46	758.557	35.419	SiO ₂
47	7544.784	165.679	
48	529.077	46.464	SiO ₂
49	1873.024	72.938	
50	0.000	94.928	
51	244.291	52.000	SiO ₂
52	1787.759	30.111	
53	-550.963	27.000	SiO ₂
54	-1507.410	1.000	
55	333.138	37.000	SiO ₂
56	14215.066	1.000	
57	159.422	69.511	SiO ₂
58	111.897	6.929	
59	124.699	40.000	CaF ₂
60	526.178	6.431	
61	-1849.537	18.000	SiO ₂
62	1103.833	0.100	
63	243.096	30.000	SiO ₂
64	0.000	15.000	

条件対応値を以下に示す。

(1) $|\beta_1| = 0.84828$

(2) $|\beta_2| = 0.30454$

(3) $|\beta_1 \cdot \beta_2| = 0.25$

(4) $|P_{G1} + P_{G2}| = 0.00000$

(6) $P_{G12} = -0.624$

30 (7) $P_{G11} + P_{G21} + P_{G22} + P_{G13} = 6.36 \times 10^{-3}$

(8) $|r_A|/r_B = 0.784$

(9) $f_{11}/f_{12} = 2.29$

(10) $|f_{21}|/f_{22} = 3.01$

(11) $f_{13F}/f_{13R} = -1.287$

図9(a)は第3実施例の縦収差図であり、図9(b)は第3実施例の倍率色収差図、図9(c)は第3実施例の横収差図である。各収差図中において、NAは開口数を表し、Yは像高を表す。また、符号J、P及びQは、波長がそれぞれ193.0nm、192.9nm及び193.1nmであることを示す。そして、図9(a)において、球面収差中において、破線は正弦条件違反量を表し、非点収差中においては、破線はメリジオナル像面、実線はサジタル像面をそれぞれ表す。図9(c)に示す横収差図において、各コマ収差図中の上部に記載される数字は、物体高を表す。

【0076】図9(a)～(c)に示す諸収差図より、本実施例では、0.6という大きな開口数NAでありながら、広い領域において諸収差が良好に補正されているこ

上及び倍率の色収差も良好に補正されていることが分かる。

〔第4実施例〕図10を参照して本発明による第4実施例を説明する。図10(a)は第4実施例による反射屈折光学系の展開光路図であり、図10(b)は第4実施例の反射屈折光学系のレチクルR上の視野を表す平面図である。

【0077】図10の第4実施例では、上述の第1～第3実施例の反射屈折光学系とは異なり、第1結像光学系 G_1 が第1群 G_{11} 及び第2群 G_{12} から構成されている。次に、図10(a)を参照して各レンズ群のレンズ構成について説明すると、第1群 G_{11} は、両凸形状の正レンズ成分 L_{111} から構成される。第2群 G_{12} は、レチクルR側から順に、レチクルR側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分 L_{121} と、レチクルR側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分 L_{122} と、レチクルR側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分 L_{123} と、レチクルR側に凹面を向けた凹面鏡 M_1 とから構成される。

【0078】ここで、本実施例では、上記第1群 G_{11} 及び第2群 G_{12} がレチクルRの中間像を形成する第1結像光学系 G_1 を構成し、後述のレンズ群 G_{21} 及びレンズ群 G_{22} が上記中間像を再結像させる第2結像光学系 G_2 を構成する。レンズ群 G_{21} は、中間像側から順に、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分 L_{211} と、両凸形状の正レンズ成分 L_{212} と、中間像側に強い凹面を向けた両凹形状の負レンズ成分 L_{213} と、両凸形状の正レンズ成分 L_{214} と、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分 L_{215} と、両凸形状の正レンズ成分 L_{216} と、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分 L_{217} と、両凸形状の正レンズ成分 L_{218} と、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分 L_{219} とから構成される。

【0079】レンズ群 G_{22} は、中間像側から順に、両凸形状の正レンズ成分 L_{221} と、中間像側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分 L_{222} と、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分 L_{223} と、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分 L_{224} と、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分 L_{225} と、中間像側に強い凸面を向けた両凸形状の正レンズ成分 L_{226} と、両凹形状の負レンズ成分 L_{227} と、両凸形状の正レンズ成分 L_{228} と、中間像側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分 L_{229} とから構成される。

【0080】以下の表4に本実施例の諸元の値を掲げる。本実施例において、全系の倍率は1/4倍（縮小）であり、ウェハW側の開口数NAは0.6である。そして、図10(b)に示す如く、本実施例の視野は、レチクル

とができる。

【0081】なお、表4に示す本実施例においては、光路折曲げミラー M_2 は、第2面乃至第6面と第27面乃至第32面とに位置する。また、表4では、凹面鏡 M_1 は第17面となり、その仮想面は第16面となる。

【0082】

【表4】

〔第4実施例〕

27			28		
$d_0 = 70.000$			42	496.092	30.413
	r	d	43	1373.015	68.878
		n	44	-3437.700	0.086
1	0.000	0.000	45	618.452	43.110
2	0.000	30.000	46	439.905	42.443
3	0.000	0.000	47	733.511	48.299
4	0.000	30.000	48	10489.054	0.086
5	0.000	0.000	49	484.197	55.000
6	0.000	100.790	50	1248.088	206.685
7	346.864	52.255	51	0.000	187.633
8	-843.918	65.415	52	523.727	56.562
9	842.334	14.930	53	-625.607	11.000
10	171.613	7.187	54	-440.960	29.869
11	180.001	44.004	55	-566.474	0.452
12	273.777	507.678	56	368.348	40.255
13	0.000	37.538	57	1061.563	0.324
14	-264.911	8.883	58	129.430	62.684
15	-741.422	6.271	59	92.503	4.689
16	0.000	0.000	60	98.755	24.414
17	399.167	6.271	61	99.189	11.310
18	741.422	8.883	62	107.296	38.110
19	264.911	37.538	63	-8859.947	2.066
20	0.000	507.678	64	-462.724	19.779
21	-273.777	44.004	65	206.121	1.693
22	-180.001	7.187	66	137.000	26.816
23	-171.613	14.930	67	-579.493	1.986
24	-842.334	65.415	68	448.260	18.758
25	843.918	52.255	69	4288.596	15.000
26	-346.864	100.790	70	0.000	0.000
27	0.000	0.000			
28	0.000	30.000			
29	0.000	0.000			
30	0.000	30.000			
31	0.000	0.000			
32	0.000	37.709			
33	327.889	42.768			
34	248.377	20.885			
35	475.811	58.080			
36	-645.067	19.800			
37	-221.930	39.600			
38	935.365	1.320			
39	689.913	55.440			
40	-261.883	593.356			
41	1021.854	42.829			

30 条件対応値を以下に示す。

(1) $|\beta_1| = -0.96537$

(2) $|\beta_2| = -0.24387$

(3) $|\beta_1 \cdot \beta_2| = 0.25$

(4) $|P_{G1} + P_{G2}| = 0.00000$

(5) $P_{G11} + P_{G21} + P_{G22} = 7.45 \times 10^{-3}$

(6) $P_{G12} = -0.00691$

(8) $|r_A|/r_B = 0.967$

(9) $f_{11}/f_{12} = 2.77$

(10) $|f_{21}|/f_{22} = 4.3$

40 図11(a)は第4実施例の縦収差図であり、図11(b)は第4実施例の倍率色収差図、図11(c)は第4実施例の横収差図である。各収差図中において、NAは開口数を表し、Yは像高を表す。また、符号J、P及びQは、波長がそれぞれ193.0nm、192.9nm及び193.1nmであることを示す。そして、図11(a)において、球面収差中において、破線は正弦条件違反量を表し、非点収差中においては、破線はメリジオナル像面、実線はサジタル像面をそれぞれ表す。図11(c)に

【0083】図11(a)～(c)に示す諸収差図より、本実施例では、0.6という大きな開口数NAでありながら、広い領域において諸収差が良好に補正されていることが分かる。また、図11(a)～(c)に示す諸収差図より、本実施例では、波長幅0.1nmの範囲において軸上及び倍率の色収差も良好に補正されていることが分かる。

【0084】以上の通り、本発明による各実施例によれば、非常に大きな開口数でありながら、広い露光領域において諸収差が良好に補正された反射屈折光学系を提供できる。更に、各実施例では、凹面鏡M₁の直径が250～300程度となっており、かなり凹面鏡の小型化が達成されている。また、各実施例における数値より、作動距離が十分に確保されていることが分かる。

【0085】また、上述の各実施例では、光路偏向手段としての光路折曲げミラーM₂が第1結像光学系G₁が形成する中間像の近傍に配置される構成であるため、光路折曲げミラーM₂に対する第1及び第2結像光学系G₁、OP₂の偏心誤差の影響を少なくできる。また、上記各実施例では、光路折曲げミラーM₂の反射面に達する光束の径が小さくなるため、光路折曲げミラーM₂自体の小型化を図ることができる。従って、光路折曲げミラーM₂による光束の遮蔽を少なくできるため、露光領域の拡大化を達成できる利点もある。

【0086】なお、上述の各実施例においては、光路折曲げミラーM₂を表面反射鏡としているが、その代わりに膜面反射鏡を用いても良い。さらに、各実施例では、光路折曲げミラーM₂によって、第1結像光学系G₁からの光束を90°偏向させた後に第2結像光学系G₂へ導く構成としているため、第1結像光学系G₁と第2結像光学系G₂との偏心調整が容易に行なえる利点がある。

【0087】また、各実施例においては、第2結像光学系G₂中のレンズ群G₂₁とレンズ群G₂₂との間に開口絞り配置できるため、この開口絞りを開口径可変となるように構成すれば、σ可変による露光をも達成できる。なお、上述の第1実施例による反射屈折光学系では、輪帯状の視野であるため、所定の像高における収差のみ補正されていれば良い。

【0088】尚、上述の第2乃至第4実施例の光路折曲げミラーM₂の代わりに、ビームスプリッタを用いる構成をとる場合には、レチクルR上の光軸Axからの物体高が0～72の範囲内を用いる一括露光を行うこともできることは言うまでもない。

【0089】

【発明の効果】以上の通り本発明によれば、像側における作動距離を十分に確保したうえで高い開口数を実現でき、凹面鏡の口径の小型化をも達成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の基本的な構成の概略を示す平面図である。

【図2】本発明の別の態様の構成の概略を示す平面図である。

【図3】本発明の別の態様の構成の概略を示す平面図である。

【図4】本発明の第1実施例による反射屈折光学系の展開光路図である。

【図5】第1実施例による反射屈折光学系の諸収差図である。

【図6】本発明の第2実施例による反射屈折光学系の展開光路図である。

【図7】第2実施例による反射屈折光学系の諸収差図である。

【図8】本発明の第3実施例による反射屈折光学系の展開光路図である。

【図9】第3実施例による反射屈折光学系の諸収差図である。

【図10】本発明の第4実施例による反射屈折光学系の展開光路図である。

【図11】第4実施例による反射屈折光学系の諸収差図である。

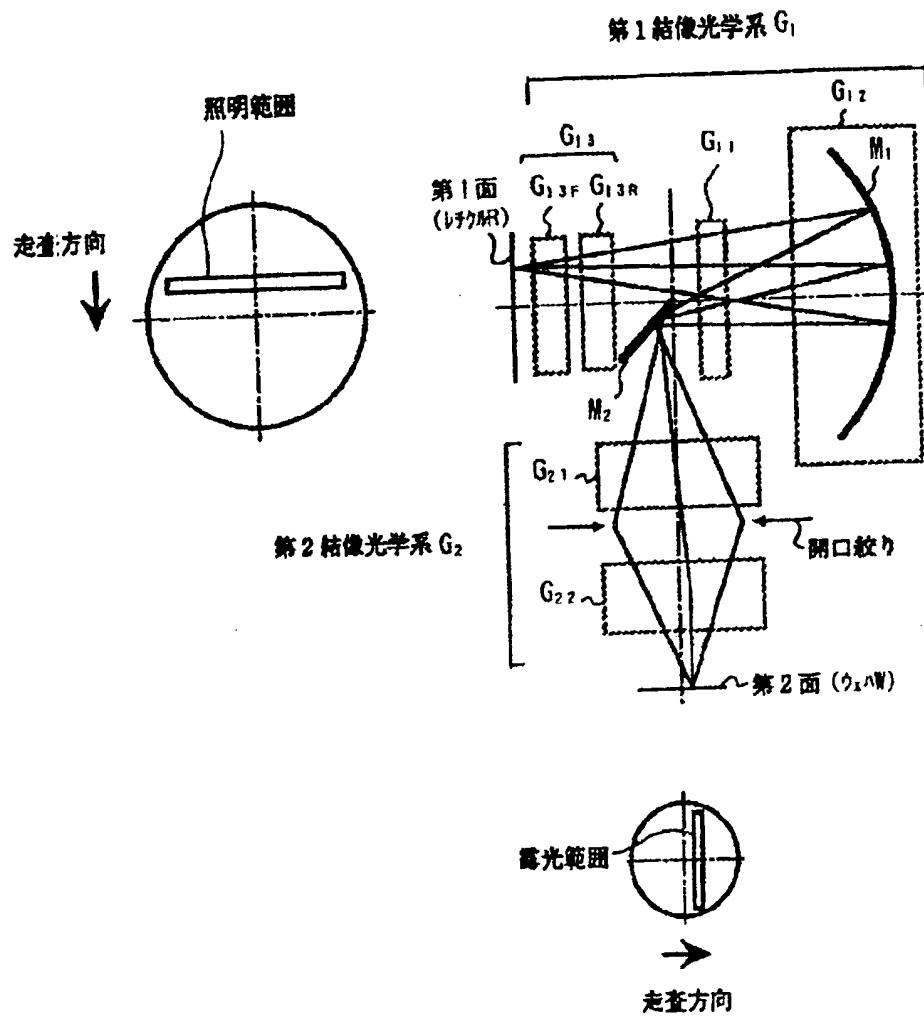
【図12】実施例における特殊フィルターの一例を示した図である。

【図13】実施例における視野絞りの一例を示した図である。

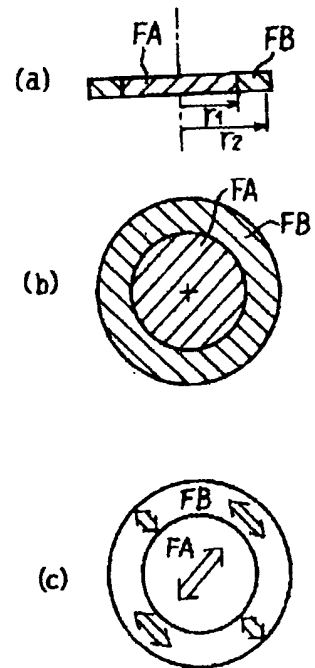
【符号の説明】

- G₁ … 第1結像光学系、
- G₂ … 第2結像光学系、
- G₁₁ … 第1群、
- G₁₂ … 第2群、
- G_{13F} … 前群、
- G_{13R} … 後群、
- M₁ … 凹面鏡、
- M₂ … 光路折曲げミラー（光路偏向部材）、
- M₃ … 光路折曲げミラー（光路偏向部材）、
- M₀ … 光路折曲げミラー（光路偏向部材）、
- R … レチクル（第1面）、
- W … ウェハ（第2面）、

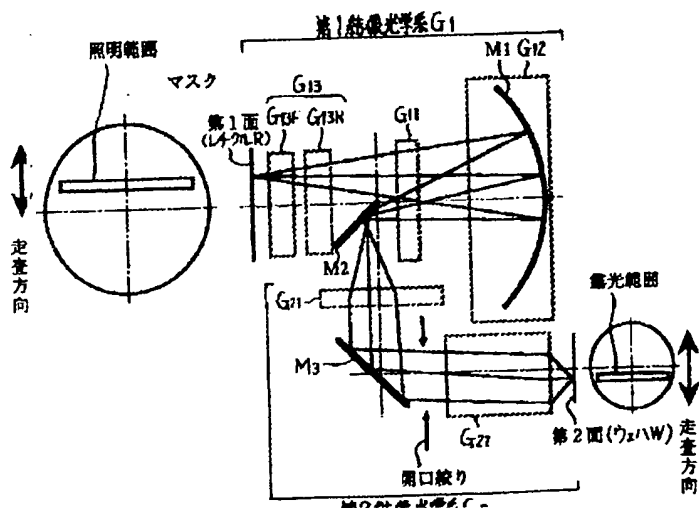
【図1】



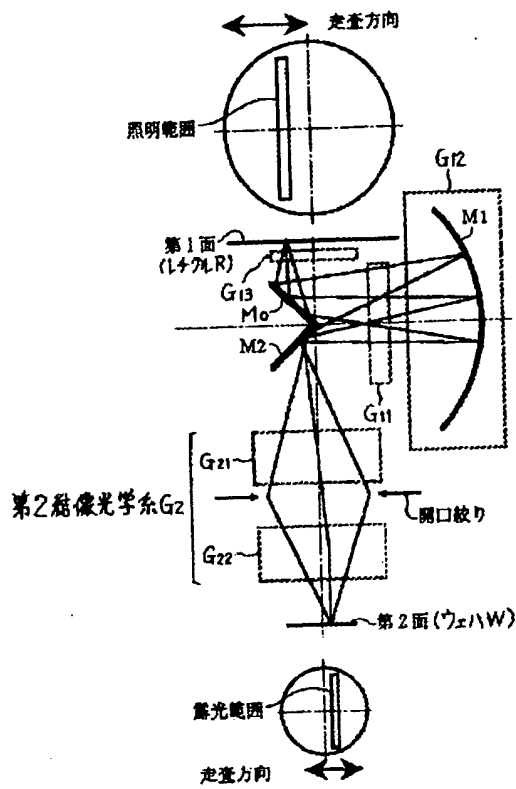
【図12】



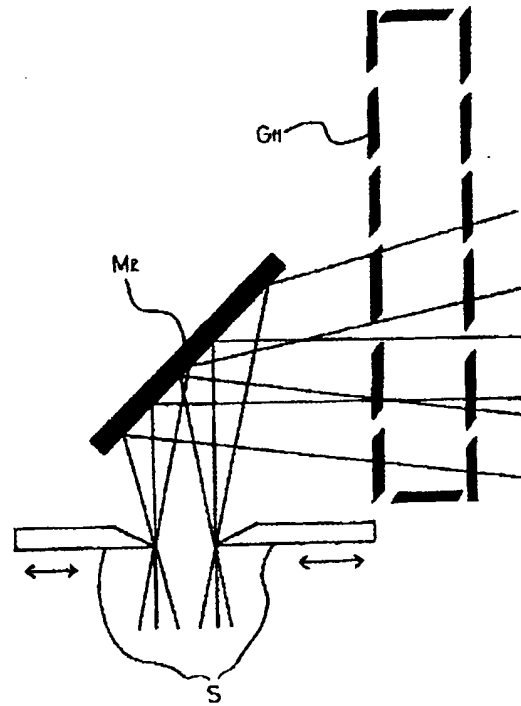
【図3】



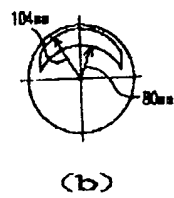
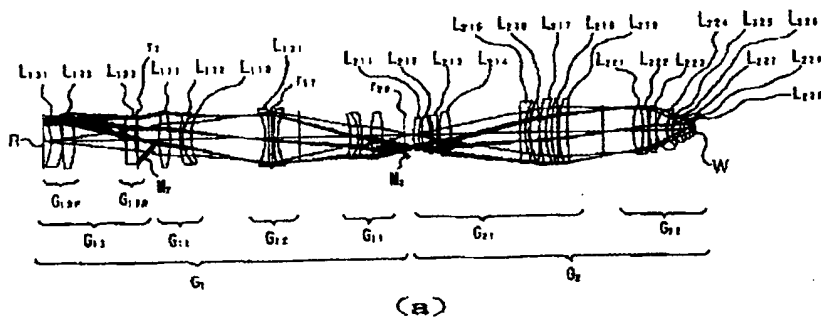
【図2】



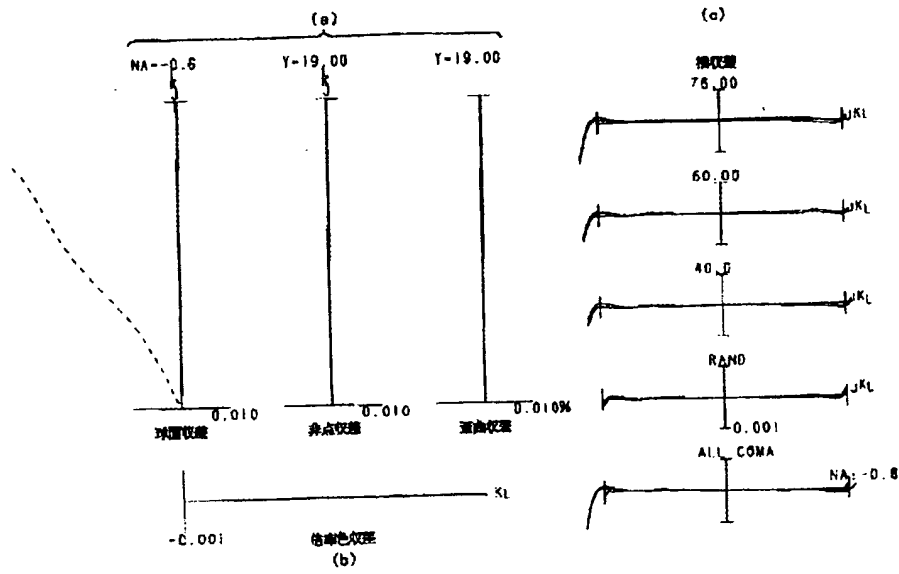
【図13】



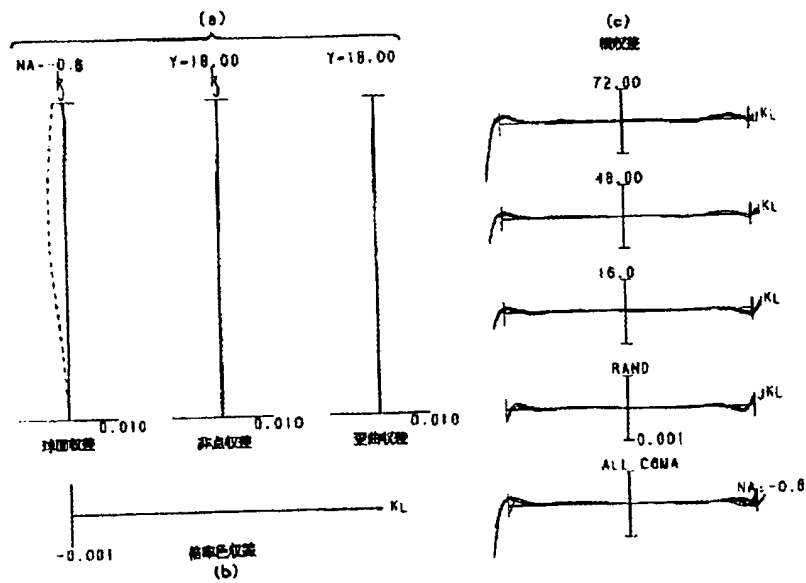
【図4】



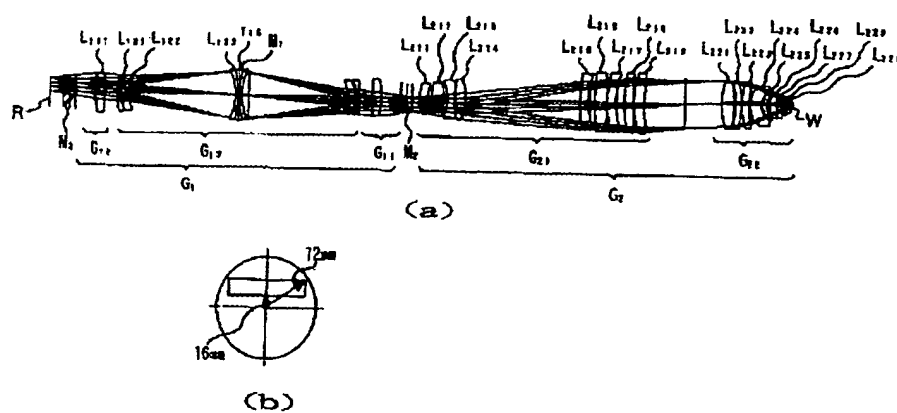
【図7】



【図9】



【図10】



【図11】

